

DAS PRAKTIKUM „ELEKTRISCHE FAHRZEUG-TECHNIK“

N. Domann, G. Tareilus

1 MOTIVATION

Die Erarbeitung von Mobilitätslösungen in Zeiten des Klimawandels und steigender Energiepreise ist eine zentrale Herausforderung in den Ingenieurwissenschaften. Eine Lösung für nachhaltige Mobilität ist das elektrisch angetriebene Kraftfahrzeug. In diesem Bereich werden momentan große Anstrengungen unternommen, um massenmarktaugliche Lösungen zu finden. Diese Entwicklung wird noch einige Zeit benötigen. Dabei besteht ein großer Bedarf an gut ausgebildeten HochschulabsolventInnen, um die Forschung und Entwicklung entsprechender Antriebs- und Speichersysteme voranzutreiben. Selbstverständlich muss diese Tatsache in der Lehre berücksichtigt werden. Das IMAB vermittelt schon seit langem die Grundlagen der Elektromobilität in den angebotenen Vorlesungen. Stete Verbesserung und Weiterentwicklung der Inhalte zeichnet eine qualitativ hochwertige Lehre aus, wobei der Studierende in den Mittelpunkt gestellt wird. Durch das Mittel der Studiengebühren ist der finanzielle Spielraum für die Realisierung anspruchsvoller Projekte in der Lehre gegeben, so dass die Erstellung eines neuen Praktikums am IMAB erfolgen wird. Das Praktikum „Elektrische Fahrzeugtechnik“ ist die ideale Erweiterung der bereits durch die Vorlesungen des IMAB vermittelten Inhalte. Somit erhalten die Teilnehmer die Möglichkeit, an einem hoch aktuellen Thema mit starkem Praxisbezug ihr Wissen und ihre Fähigkeiten zu erweitern.

2 KONZEPT UND ZIELSETZUNG

Das Praktikum „Elektrische Fahrzeugtechnik“ wird den teilnehmenden Studenten einen Überblick über das Gesamtsystem „Elektrofahrzeug“ verschaffen. Dabei liegt der Schwerpunkt bei der Antriebstechnik eines solchen Automobils. Das Praktikum umfasst die einzelnen Themenfelder:

- Elektrische Maschinen als Traktionsantrieb
- Leistungselektronik
- Energiespeichersysteme
- Fahrzeugsimulation

Bei der Bearbeitung dieser Themen bildet die Betrachtung der physikalischen Grundlagen der Komponenten den Ausgangspunkt. Somit werden Inhalte aus den im Studium gehörten Vorlesungen an einem konkreten Beispiel angewandt. Die für den Automotivbereich spezifischen Anforderungen werden ebenso betrachtet, wie die für die Komponenten entscheidenden Eigenschaften. Weiterhin werden Messungen durchgeführt, um Parameter für die Modellbildung des Gesamtsystems zu erhalten. Ziel der Modellbildung ist die Erstellung

eines Gesamtfahrzeugmodells, um den Energiefluss zwischen den Komponenten darzustellen und auf diese Weise Aussagen über das Systemverhalten zu gewinnen.

Letztendlich erhalten die Teilnehmer so einen Einblick in das Gesamtsystem, das mehr als die Summe der einzelnen Komponenten ist. Nur eine solche ganzheitliche Betrachtung ermöglicht ein umfassendes Verständnis der Materie. Weiterhin werden so Optimierungspotenziale ersichtlich, die auf Komponentenebene nicht zu erkennen sind.

3 INHALT DER VERSUCHE

Das Praktikum besteht aus sechs Versuchen, welche in einem Semester absolviert werden. Dabei werden zunächst Einzelkomponenten betrachtet und das Verständnis durch Messungen an diesen Komponenten vertieft. Die Ergebnisse der einzelnen Versuche können schließlich an einem Demonstrationsfahrzeug überprüft werden. Obligatorisch bei allen Versuchen ist für die Teilnehmer die Vorbereitung auf den Versuch mittels Script und die Überprüfung der Vorbereitung innerhalb eines entsprechenden Kolloquiums.

Die Versuche und ihre Inhalte werden im Folgenden beschrieben.

Versuch 1 – Elektromotoren für Elektrofahrzeuge

Thema dieses Versuches ist die Untersuchung der Eignung verschiedener Typen von elektrischen Maschinen für die Anwendung als Traktionsmotor. Dabei werden die Zusammenhänge zwischen Faktoren wie beispielsweise Leistungsdichte und Wirkungsgrad ebenso untersucht, wie Sicherheitsaspekte bei verschiedenen Betriebszuständen. Zusätzlich wird auf spezielle Anforderungen bei Verwendung von elektrischen Maschinen im Automotivebereich eingegangen, sowie unterschiedliche Kühlkonzepte für diese Anwendung betrachtet. Die Vermessung einer ausgewählten Maschine zum Ermitteln von Ersatzparametern für die Fahrzeugsimulation bildet den Abschluss des Versuchs

Versuch 2 – Leistungselektronik für Elektrofahrzeuge

Dieser Versuch behandelt das Thema Leistungselektronik beim Einsatz im Fahrzeug. Dabei treten die gleichen Fragestellungen wie bei Versuch 1 auf, welche in Hinblick auf die spezifischen Eigenschaften leistungselektronischer Komponenten behandelt werden. Unter den besonderen Randbedingungen von Elektronik in Fahrzeugen bezüglich mechanischer, klimatischer und chemischer Beanspruchung wird beispielsweise die Herausforderung für Bondverbindungen in Bezug auf Rüttelfestigkeit besprochen. Weiterhin werden die Eigenschaften verschiedener Schaltungstopologien untersucht. Hierbei werden ebenfalls Ersatzparameter für die spätere Fahrzeugsimulation ermittelt.

Versuch 3 – Energiespeichersysteme für Elektrofahrzeuge

Das Energiespeichersystem ist eine wesentliche Komponente im Elektrofahrzeug. Im Versuch werden die zahlreichen Möglichkeiten wie Akku, Brennstoffzelle und Redox-Flow-Zelle, aber auch Kurzzeitspeicher wie Supercaps und Flywheels behandelt. Der Fokus wird auf den Lithium-Ionen-Akkumulator in seinen vielfältigen Ausprägungen gelegt. Dabei werden Grundlagen der Zellchemie und der Aufbau eines Akkusystems besprochen. Auch hier werden alle Themen vor dem Hintergrund der Anwendung im Fahrzeug und den sich daraus ergebenden Anforderungen behandelt. Weiterhin wird ein Modell für die Einbindung des Energiespeichersystems in die Fahrzeugsimulation erstellt.

Versuch 4 – Längsdynamiksimulation

Mittels der Längsdynamiksimulation lassen sich die grundsätzlichen Fahrleistungen eines Automobils abbilden, nachdem aus der gewünschten Performance die zu installierende Leistung berechnet wurde. Mit Hilfe von Fahrzyklen können erreichte Fahrzustände und die sich einstellende Dynamik des Fahrzeugs dargestellt werden, so dass die Abhängigkeit der Performance von verschiedenen Zugkraftkennlinien gut ersichtlich wird. Dazu wird ein Modell des Fahrzeugs erstellt, welches die Fahrwiderstände und Verluste abbildet. Gleichzeitig dienen diese Daten als Basis für die folgenden Versuche. In diesem Schritt werden die einzelnen Komponenten zu einem Gesamtsystem verschaltet und mit dem Fahrzeugmodell gekoppelt, so dass ein Modell aus Antriebsstrang, Energiespeicher und Restfahrzeug entsteht.

Versuch 5 – Energieflusssimulation

Es ist das Ziel dieses Versuchs, die Energieflüsse im Fahrzeug abzubilden und somit Aussagen über Verluste an einzelnen Komponenten und schließlich eine Angabe über die Reichweite des Fahrzeugs zu erhalten. Dazu wird das Modell des vorangegangenen Versuchs um eine Modellierung der Verluste der Antriebskomponenten erweitert. Somit ist es möglich, in Abhängigkeit von einem bestimmten Fahrzyklus für das simulierte System den Energiefluss aus dem Speicher in das Antriebssystem und schließlich in die Umwelt darzustellen, woraus sich die Reichweite ergibt. Dabei werden mithilfe der ermittelten Parameter Modelle erstellt, bzw. die schon erstellten Modelle genutzt. Letztendlich können die Schwächen einzelner Komponenten in Bezug auf das Gesamtsystem identifiziert und im nächsten Schritt Verbesserungsmöglichkeiten aufgezeigt werden.

Versuch 6 – Thermische Simulation

Ausgehend von der Energieflusssimulation und den sich daraus ergebenden thermischen Verlusten wird die Verlustbilanz für das Gesamtmodell betrachtet. Dabei werden die in den ersten Versuchen gewonnenen Parameter genutzt, um die Erwärmung der Komponenten darzustellen. Mithilfe der bereits gewonnenen Kenntnisse wird eine geeignete Kühlung

dimensioniert. Somit wird die Kopplung zwischen Längsdynamik, Energieumsatz und Erwärmung möglich. An dieser Stelle kann eine Iteration erfolgen um ggf. Rückwirkungen des Kühlsystems auf das Gesamtsystem zu minimieren. Weiterhin werden an dieser Stelle mögliche Betriebsstrategien behandelt, um eine optimale Nutzung der zur Verfügung stehenden Energie zu erreichen.

4 TECHNISCHE UMSETZUNG – DER DEMONSTRATOR

In den ersten drei Versuchen werden zunächst Messungen an einzelnen Komponenten durchgeführt. Um auch die Ergebnisse der Gesamtsimulation überprüfen zu können, wird für das Praktikum ein Demonstrator aufgebaut. Somit wird eine ganzheitliche Betrachtung des Systems „Elektrofahrzeug“ möglich.

Das Demonstrationsfahrzeug wird auf Basis eines Kit-Cars erstellt. Da praktisch alle am Markt erhältlichen Fahrzeuge für einen konventionellen Antriebsstrang mit Verbrennungskraftmaschine (VKM) vorbereitet sind, ist dieses die vom Gesamtaufwand effizienteste Lösung. Der genutzte Gitterrohrrahmen ermöglicht die flexible Befestigung von Komponenten. Dennoch gibt es Einschränkungen, da auch dieses Fahrzeug ursprünglich für die Aufnahme eines Verbrennungsmotors vorgesehen ist. Somit wird als Antriebsanordnung eine klassische Variante mit Frontmotor und Heckantrieb gewählt. Dieser Ansatz ist zwar vom Packaging und der erreichbaren Fahrdynamik nicht optimal, aber für einen Demonstrator sinnvoll. Als Antriebsmotor kommt eine am IMAB entwickelte Asynchronmaschine mit 100 kW Nennleistung zum Einsatz. Zwar ist im Allgemeinen bei permanentmagneterregten Maschinen (PSM) die erreichbare Leistungsdichte und der Wirkungsgrad höher als bei der Asynchronmaschine, dennoch bietet diese gerade für Automotiv Anwendungen Vorteile. Insbesondere bei dem Einsatz in einem Versuchsfahrzeug sind die robuste Bauweise der Asynchronmaschine und das fehlertolerante Betriebsverhalten vorteilhaft. Die verwendete Maschine verfügt über einen Kupferkäfig, so dass ein besserer Wirkungsgrad erreicht wird. Zur Optimierung des Betriebsverhaltens wird die Maschine mit einer speziellen am IMAB entwickelten Stromspeisung betrieben. Dadurch kann gerade im Teillastbereich der Wirkungsgrad gegenüber einer klassischen feldorientierten Regelung deutlich gesteigert werden. Bei der notwendigen Leistungselektronik kommt ein am IMAB entwickelter Wechselrichter zum Einsatz, welcher aus drei Vierquadrantenstellern besteht. Durch diesen Wechselrichter sind auch Stromformen realisierbar, welche in der Stromsumme nicht Null ergeben. Weiterhin ist so für niedrige Drehzahlen eine Speisung mit quasi rechteckförmigen Strömen möglich, so dass der Grundwellenfaktor deutlich erhöht wird und somit mehr Drehmoment zur Verfügung steht. Dadurch sollte das Fahrzeug trotz seines projektierten Gewichts von ca. 1300 kg ein hohes Beschleunigungsvermögen und gute Längsdynamik erhalten.

Als Energiespeichersystem ist ein Akkustack aus Lithium-Ionen-Zellen mit ca. 8 kWh Bruttokapazität vorgesehen. Dieser Stack wird ebenfalls am IMAB aufgebaut werden. Neben dem Hochvoltbordnetz wird für die Versorgung der Nebenaggregate ein konventionelles 12 V Bordnetz aufgebaut, wodurch unter anderem für die Kühlmittelpumpe und Beleuchtung

Standardkomponenten genutzt werden können. Selbstverständlich wird ein mehrstufiges Sicherheitskonzept für den zuverlässigen Betrieb und die Vermeidung von gefährlichen Betriebszuständen sorgen.

5 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Das Praktikum „Elektrische Fahrzeugtechnik“ erweitert die Lehre an der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, indem es den Studierenden die Möglichkeit bietet, praxisnah im zukunftssträchtigen Bereich Elektromobilität Wissen aufzubauen.

Der Demonstrator bietet gleichzeitig vielfältige Möglichkeiten für die Bearbeitung von Aufgabenstellungen im Rahmen studentischer Arbeiten. Weiterhin ist eine Nutzung als Technologieträger denkbar, um Forschungsaktivitäten des IMAB, wie beispielsweise elektromagnetische Dämpfer oder ein berührungsloses Energieübertragungssystem zur Ladung des mitgeführten Akkusystems im Praxiseinsatz nutzen zu können.